

**Verfahren und Vorrichtung zum Steuern des Luftmengenstromes
von Verbrennungskraftmaschinen**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern des Luftmengenstromes von Verbrennungskraftmaschinen mit Direkteinspritzung, nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie eine Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach dem Oberbegriff des Anspruchs 18.

Der Entwicklungsstand und die anzutreffenden Ausführungen von Verbrennungskraftmaschinen mit Direkteinspritzung, insbesondere nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sind dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung der im Verdichtungsstakt zu komprimierenden Luftmenge entweder durch eine Absenkung des Ausgangsdruckes während des Ansaugtaktes (Ausführungsart I) oder durch frühzeitiges Schließen des Einlassventils/der Einlassventile entsprechend dem gewünschten Lastbereich, ebenfalls während des Ansaugtaktes (Ausführungsart II), erfolgen.

Bei der Ausführungsart I wird die Absenkung des Ausgangsdruckes im Kompressionsraum zu Beginn jedes Verdichtungsstaktes durch die Drosselung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes vor dem Einlassventil/den Einlassventilen bei erreicht. Ausführungsbeispiele für eine derartige Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes sind Drosselklappen, Schieberegler oder Steuerschieber (vgl. DE 3720097 A1; DE 19734227 C2, DE 69704595 T2,

DE 19502669 C2, DE 19928523 A1, DE 19501150 C2 oder DE 10058200 A1). Die Ermittlung des aktuellen Lastzustandes der Verbrennungskraftmaschine erfolgt dabei entweder durch Messen des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes oder durch Ermittlung des Unterdruckes des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes nach dem jeweils eingesetzten Drossелеlement. Auf Grund der Ausführungsart dieser Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes treten Drosselverluste (vgl. Pöhls, Axel; Untersuchung eines Verfahrens zur gesteuerten Abgasrückführung bei Ottomotoren; VDI Verlag GmbH Düsseldorf; Dissertation 2001; ISBN 3-18-345812-8; S. 1; oder Homburg, Arno; Optische Untersuchungen zur Strahlausbreitung und Gemischbildung bei DI-Benzin-Brennverfahren; Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der TU Braunschweig; Dissertation 2002; S. 12) im Ergebnis der erforderlichen Druckabsenkung zur Lastregelung während des Ansaugtaktes für jeden Zylinder auf, welche speziell im Teillastbereich der Verbrennungskraftmaschine zu Wirkungsgradeinbußen führen (vgl. Weirich, Marko; NOx-Reduzierung mit Hilfe des SCR-Verfahrens am Ottomotor mit Direkteinspritzung; Universität Kaiserslautern, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik; Dissertation 2001; S. 3).

Ausführungsbeispiele der Ausführungsart II in Bezug auf eine drosselfreie Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine je Arbeitsspiel zugeführten Luftmengenstromes werden in den Patentschriften DE 19810466 C2; DE 10111991 A1; DE 4341945 A1; DE 19706750 A1, DE 69720356 T2 oder DE 3940752 A1 beschrieben, wobei der jeweils zugeführte Luftmengenstrom durch Variation der Öffnungsdauer des (der) Einlassventils(e) gesteuert wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Steuern des Luftmengenstromes von Verbrennungskraftmaschinen mit Direkteinspritzung anzugeben, welches einerseits keine Drosselverluste, speziell im Teillastbereich, hervorruft, wo-

bei als Benchmark die Ausführungsart I gilt. Andererseits besteht im Unterschied zur im Stand der Technik beschriebenen Ausführungsart II der Anspruch, mit geringem baulichem Aufwand die Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes zu gewährleisten, wobei der zugeführte Luftmengenstrom über alle Drehzahl- und Lastbereiche hinweg annähernd konstant bleiben soll. Dadurch verbessert sich das Ansprechverhalten bei Lastwechseln im instationären Betrieb der Verbrennungskraftmaschine, wobei sich der Steuerungsaufwand für dynamische Parameter, wie beispielsweise die jeweilige Abgasrückführungsrate oder die Menge des einzuspritzenden Kraftstoffs, verringert. Als Ergebnis wird angestrebt, einen quasi "stetigen" Ladungswechselprozess in Bezug auf die während eines Arbeitsspiels umzusetzenden Luftmengen zu erreichen, welcher besser erfasst und gesteuert werden kann, wodurch sich der Schadgasausstoß verringert und der Fahrkomfort steigt. Ebenfalls ist es Aufgabe der Erfindung, aufgrund des annähernd konstanten Luftmengenstromes eine verbesserte Abstimmung mit einem Abgasturbolader im Vergleich zum derzeitigen Stand der Technik zu ermöglichen und so die Effizienz der Verbrennungskraftmaschine zu steigern. Weiterhin ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens und eine Verbrennungskraftmaschine mit verbesserten Ansprechverhalten bei Lastwechseln bei geringerem Steuerungsaufwand anzugeben.

Diese Aufgaben werden mit einem Verfahren zum Steuern des Luftmengenstromes mit den Merkmalen des Anspruchs 1, einer Vorrichtung zum Durchführen des Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 18 und einer Verbrennungskraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 26 und/oder 27 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den von den unabhängigen Ansprüchen jeweils abhängigen Ansprüchen gekennzeichnet. Im Folgenden wird die Erfindung beispielhaft näher erläutert.

Die Grundlage für die Erfindung bildet der Seiligerprozess nach Fig. 1, speziell der im Rahmen des p-V-Diagramms grau dargestellte Niederdruckbereich während des Ansaugtaktes (relevant bezüglich Ausführungsart I und II) sowie der Druckanstiegsbereich als Folge der Volumenreduktion während des Verdichtungstaktes (relevant bezüglich Erfindungsdarstellung). Im Gegensatz zu den existierenden Steuerungsmechanismen des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes, erfolgt im Rahmen der Erfindung keine derartige Steuerung des Zylinderdruckes p_z durch Drosselung (Ausführungsart I des Standes der Technik) oder frühzeitiges Schließen des/der Einlassventils(e) (Ausführungsart II des Standes der Technik) während des Ansaugtaktes zur Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes je Arbeitsspiel entsprechend der einzustellenden Betriebspunkte zwischen Volllast und Teillast auf der Basis von Lastkollektiven. Lastkollektive sind in diesem Zusammenhang durch jeweils ein Fahrpedalsignal (γ), dessen Wert von der Fahrpedalstellung abhängt und ein Drehzahlsignal n , dessen Wert von der Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine abhängt, definiert. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die lastabhängige Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes je Arbeitsspiel durch das Öffnen einer Gasaustrittsöffnung bei jedem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine während des Verdichtungstaktes sichergestellt, wobei sich ein gleich bleibendes Druckniveau p_{zR} vom Öffnungs- bis zum Schließzeitpunkt der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine einstellt. Die grau dargestellte Fläche im p-V-Diagramm (Ladungswechselschleife) in Fig. 1 zwischen den Zylinderdrücken p_{Amin} und p_{Amax} entfällt, da erfindungsgemäß über alle Lastbereiche (insbesondere bei Teillast) der Verbrennungskraftmaschine ausschließlich der Zylinderdruck p_{Amax} vorliegt, weshalb für alle Lastkollektive $p_{Amin} = p_{Amax}$

gilt. Im Ergebnis der erfindungsgemäßen Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes sinkt der Anteil der Ladungswechselarbeit im Niederdruckbereich des Seiligerprozesses entsprechend Fig. 1. Das Druckniveau des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes bleibt während des Ansaugtaktes auf Grund der Nichtdrosselung sowie des weitestgehend gleichbleibenden Öffnungsintervalls der/des Einlassventile(s) der Verbrennungskraftmaschine über alle Lastkollektive annähernd konstant beim Druck p_{Amax} . Gleiches gilt für den der Verbrennungskraftmaschine je Arbeitsspiel zugeführten Luftmengenstrom, da im Gegensatz zu den beschriebenen Ausführungsarten I und II erfindungsgemäß keine Begrenzung als Ergebnis einer Steuerung dieses Parameters während des Ansaugtaktes erfolgt.

Unter dem Begriff "Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum" ist eine Einrichtung zu verstehen, welche es ermöglicht, dass gasförmige Stoffe, z. B. ein Verbrennungsluftgemisch, aus dem Kompressionsraum eines Zylinders heraus, z. B. in eine Abgasleitung geführt werden kann. Die Gasaustrittsöffnung weist Mittel auf, mit denen die Gasaustrittsöffnung ansteuerbar verschließbar ist. Diese Mittel sind beispielsweise Ventileinrichtungen die über einen Aktuator oder eine Stelleinrichtung betreibbar sind. Gemäß einer besonderen Ausführungsform kann die Gasaustrittsöffnung im Sinne der Erfindung der Auslasskanal eines Zylinders sein, der durch ein variabel ansteuerbares Auslassventil verschlossen ist.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Gasaustrittsöffnung gemäß der Erfindung ein weiterer Gasaustrittskanal neben dem Auslasskanal des Zylinders sein, der durch Ventileinrichtungen ansteuerbar verschließbar ist und definiert geöffnet und geschlossen werden kann. Die Formulierung "Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum" bedeutet auch, dass die Gasaus-

trittsöffnung im Sinne der Erfindung in den Kompressionsraum mündet.

Der Zeitpunkt zur Öffnung der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine α_{HLiG} ist vom Schließzeitpunkt des/der vorhandenen Einlassventils (e) (ES) sowie des anliegenden Abgasgegendruckes p_{Ab} am Auslassventil (an den Auslassventilen) abhängig. Dabei gilt prinzipiell, dass erstens das (die) Einlassventil(e) geschlossen sein muss (müssen). Der Zeitpunkt ES ergibt sich aus dem Steuerdiagramm der jeweils betrachteten Verbrennungskraftmaschine entsprechend des Kurbelwinkels α_{HLis} bei ES. Zweitens ist das Druckniveau p_{ZR} so zu wählen, dass es geringfügig über dem des Abgasgegendruckes p_{Ab} am Auslassventil (an den Auslassventilen) zum Zeitpunkt der Öffnung der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum der Verbrennungskraftmaschine liegt, wobei in diesem Fall keine interne Abgasrückführung angestrebt wird. Durch das Druckgefälle $p_{ZR} > p_{Ab}$ mit

$$p_{ZR} \approx 1,02 \cdot p_{Ab} \quad \text{Gleichung 1}$$

wird einem eventuell möglichen Einströmen von Abgasen in den Kompressionsraum während des Verdichtungstaktes im Rahmen der Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes durch Öffnen der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine, welche an die Abgasleitung der Verbrennungskraftmaschine nahe dem Auslassventil (den Auslassventilen) angeschlossen ist, entgegengewirkt (Gleichung 1).

Wird eine interne Abgasrückführung angestrebt, so ist der Zeitpunkt der Öffnung der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum der Verbrennungskraftmaschine so zu wählen, dass ein Druckgefälle eintritt, bei welchem $p_{ZR} < p_{Ab}$ gilt. Der Zeitpunkt

zum Öffnen der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine ist in diesem Zusammenhang entsprechend den existierenden Druckverhältnissen früher, dass heißt bezogen auf den Verdichtungstakt näher am unteren Totpunkt, zu wählen. Dabei richtet sich der Zeitpunkt zum Öffnen der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine nach dem gewünschten Grad der intern zu realisierenden Abgasrückführtrate und ist mit Hilfe von Indiziermessungen verbrennungskraftmaschinenspezifisch zu bestimmen, indem das jeweils einzustellende Druckgefälle ($p_{ZR} : p_{Ab}$) lastkollektivabhängig als Funktion des Kurbelwinkels α_{HLiG0} definiert wird.

Die Öffnungsdauer und somit der Schließzeitpunkt α_{HLiG5} der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine t_{Li} ist, in Äquivalenz zur Stellung des Drosselelementes oder der Öffnungsdauer der Einlassventile bei Ausführungsarten gemäß dem Stand der Technik (vgl. I oder II) des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes, vom jeweiligen gewünschten Lastbereich p_{msoll} der Verbrennungskraftmaschine abhängig, welcher durch Lastkollektive charakterisiert wird. Für die Auslegung von t_{Li} gilt es zu beachten, dass sich t_{Li} umgekehrt proportional zu p_{msoll} verhält, weshalb für die beiden Lastextrema der Verbrennungskraftmaschine gilt:

$$p_{msoll,v} \longrightarrow \text{Max} \dots t_{Li} = 0 \quad \text{Gleichung 2}$$

$$p_{msoll,L} \longrightarrow 0 \dots t_{Li} = \text{Max} \quad \text{Gleichung 3}$$

Volllast (maximaler Mitteldruck $p_{msoll,v}$ Gleichung 2) sowie Teillast Leerlauf (minimaler Mitteldruck $p_{msoll,L}$ Gleichung 3).

Entsprechend diesen formulierten Abhängigkeiten bezüglich der Öffnungsdauer t_{Li} der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum

jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine kann durch Indiziermessungen an der jeweiligen Verbrennungskraftmaschine in Abhängigkeit von Lastkollektiven der Druck p_{ZR} im Kompressionsraum der Verbrennungskraftmaschine ermittelt und in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel α dargestellt werden. Die Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes erfolgt bei diesen Indiziermessungen zum Zweck der Ausgangsdatenerfassung auf Basis der vorhandenen Steuerungsart entsprechend der jeweils vorhandenen Ausführungsart I oder II. Auf Grundlage dieser Indiziermessungen können lastkollektiv- und verbrennungskraftmaschinenspezifisch Zeitpunkte zum Schließen der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine t_{Lis} als Funktion des Kurbelwinkels α bestimmt werden. Dabei ergibt sich dieser Schließzeitpunkt t_{Lis} aus dem Schnittpunkt von p_{ZR} mit dem entsprechend indizierten Zylinderdruck p_{ZI} während des Verdichtungstaktes. Dies erfolgt, indem im p-V-Diagramm der lastkollektivspezifisch indizierte Druckverlauf entsprechend Fig. 1 dargestellt und anschließend der parallel zur Ordinatenachse (Zylinderdruck) gemessene Abstand des Schnittpunktes $p_{ZR} : p_{ZI}$ zur Abszissenachse (Hubvolumen) bestimmt wird. Somit kann das lastkollektivspezifische Hubvolumen V_{HLi} ermittelt werden, bei welchem $p_{ZR} = p_{ZI}$ gilt. Aus dem in dieser Art ermittelten lastkollektivspezifischen Hubvolumen V_{HLi} läßt sich der Zeitpunkt zum Schließen t_{Lis} der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine berechnen. Dazu ist es jedoch zuvor notwendig, die jeweiligen Kurbelwinkel zum Öffnen und Schließen der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine zu bestimmen. Da der lastkollektivspezifische Öffnungszeitpunkt α_{HLiG} entsprechend den vorangegangenen Ausführungen aus dem Steuerdiagramm der jeweils betrachteten Verbrennungskraftmaschine bestimmt werden kann, wird nachfolgend die Berechnung des Schließzeitpunktes α_{HLiGS} beschrieben. Zur Umrechnung des last-

kollektivspezifischen Hubvolumens V_{HLi} in Grad Kurbelwinkel α_{HLis} bezogen auf den Schließzeitpunkt der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine dient folgende Beziehung (Gleichung 4):

$$V_{HLi} = V_H + V_C \quad \text{Gleichung 4}$$

mit

$$V_{HLi} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_{HLi} \quad \text{Gleichung 5}$$

woraus folgt

$$H_{HLi} = \frac{(V_{HLi} - V_C) \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \quad \text{Gleichung 6}$$

mit

$$h_{HLi} = H_{HLi} - x \quad \text{Gleichung 7}$$

wodurch der lastkollektivspezifische Kurbelwinkel α_{HLis} zum Schließen der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine in Abhängigkeit vom lastkollektivspezifischen Abstand des Mittelpunktes des oberen Pleuelauges h_{HLi} wie folgt berechnet werden kann (Gleichung 8).

$$\cos \alpha_{HLis} = \frac{r^2 + h_{HLi}^2 - l^2}{2 \cdot r \cdot h_{HLi}} \quad \text{Gleichung 8}$$

Daraus folgt, dass aus dem ermittelten lastkollektivabhängigen Hubvolumen V_{HLi} eindeutig der dazugehörige Kurbelwinkel α_{HLis} berechenbar ist, welcher den Kurbelwinkel zum Zeitpunkt des Schließens der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine definiert. In der Fol-

ge kann die lastkollektivabhängige Öffnungsdauer t_{HLi} der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine berechnet werden. Dazu wird zuerst der entsprechende lastkollektivabhängige Kurbelwinkelbereich α_{HLi} , bei welchem die Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine geöffnet ist. Dies erfolgt durch Subtraktion der jeweiligen lastkollektivspezifischen Kurbelwinkel bezüglich des Öffnens- und Schließens der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine (Gleichung 9).

$$\alpha_{HLi} = \alpha_{HLiO} - \alpha_{HLiS} \quad \text{Gleichung 9}$$

Auf Basis dieses Zwischenergebnisses (Gleichung 9) kann die Öffnungsdauer t_{HLi} der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine wie folgt berechnet werden (Gleichung 10).

$$t_{HLi} = \frac{\alpha_{HLi}}{2 \cdot \pi \cdot n_{HLi}} \quad \text{Gleichung 10}$$

Damit speziell im unteren Teillastbereich der Verbrennungskraftmaschine (vgl. Gleichung 2) noch ausreichend Zeit zum Einspritzen des Kraftstoffes in den Verbrennungsraum am Ende des Verdichtungstaktes verbleibt, werden ab dem Erreichen kritischer Verhältnisse bezüglich des Kurbelwinkels bezogen auf das Schließen der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine α_{HLiS} in Relation zum Einspritzbeginn t_{EHLi} , einzelne Zylinder abgeschaltet. Diese Abschaltung erfolgt lastkollektiv- und zylinderspezifisch durch Reduktion der Einspritzmengen $\sim t_i$ auf null, bis zum Extremfall, der Befeuerung lediglich eines einzelnen Zylinders der Verbrennungskraftmaschine. In der Folge erhöht sich der Lastbereich der (oder des) weiter befeuerten Zylinder(s) der

Verbrennungskraftmaschine, wodurch sich der Zeitpunkt zum Schließen der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum der befeuerten Zylinder der Verbrennungskraftmaschine α_{HLis} in Richtung unterer Totpunkt verschiebt. Dabei kann die Schleppleistung der unbefeuerten Zylinder P_{mS} durch Variation der lastkollektivabhängigen Öffnungsdauern der jeweiligen Gasaustrittsöffnungen im Kompressionsraum dieser Zylinder der Verbrennungskraftmaschine in Abhängigkeit der verbrennungskraftmaschinenspezifischen Gegebenheiten eingestellt, dass heißt erhöht (Gleichung 11)

$$P_{mS} \uparrow \dots t_{Li} \downarrow \quad \text{Gleichung 11}$$

oder verringert (Gleichung 12) werden.

$$P_{mS} \downarrow \dots t_{Li} \uparrow \quad \text{Gleichung 12}$$

Damit ist eine gesteuerte Anhebung des Lastzustandes des/der befeuerten Zylinder der Verbrennungskraftmaschine möglich. Im Ergebnis dieser Steuerung wird einem eventuell denkbarem Austritt von eingespritztem Kraftstoff als Folge eines vor dem Schließzeitpunkt der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine α_{HLis} liegenden Einspritzbeginns t_{EHLi} entgegengewirkt, ohne dass sich der der Verbrennungskraftmaschine zugeführte Luftmengenstrom relevant ändert.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren können die der Verbrennungskraftmaschine je Zylinder und Arbeitsspiel zugeführten Luft- und Kraftstoffmengen gemeinsam auf der Grundlage von Lastkollektiven bestimmt werden, wodurch zahlreiche Steuerungsvorgänge vorteilhafter zu einem Lastkollektivoptimum zu modifizieren sind, wobei sich der Wert der jeweils zu steuernden Parameter in Richtung auf den lastkollektivspezifischen

Wert hin bewegt. Dadurch stellen sich Vorteile bezüglich eines echtzeitnahen Modifizierens z. B. zur Leerlaufregelung, Klopfregelung, Antriebsschlupfregelung, Motorschleppmomentregelung, Fahrgeschwindigkeitsregelung bzw. Drehzahl- und Geschwindigkeitsbegrenzung oder zum Erzielen weicher Übergänge bei Gangwechseln bei automatischen oder semiautomatischen Schaltungen ein.

Die Erfindung wird durch folgende Abbildungen (Fig.) beispielhaft veranschaulicht. Diese zeigen:

- Fig. 1: Schematisierte Darstellung des Seiligerprozesses;
- Fig. 2: Schematisierte Darstellung des Kurbeltriebes einer Verbrennungskraftmaschine;
- Fig. 3: Schematisierte Blockschaltdarstellung einer Steuerungseinrichtung zum Veranschaulichen des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Steuern des Luftmengenstromes von Verbrennungskraftmaschine.

Beim Betrieb der in Fig. 3 in Form einer Blockschaltdarstellung abgebildeten Verbrennungskraftmaschine 1 werden die zugeführten Luft- und Kraftstoffmengen sowie die Zündzeitpunkte lastkollektivabhängig und zylinderspezifisch eingestellt. Im Unterschied zu den beschriebenen Ausführungsarten I und II ist sowohl die Steuerungseinrichtung 3 als auch die Steuerungsausführung in Bezug auf die lastkollektivabhängige Einstellung der den Zylindern der Verbrennungskraftmaschine je Arbeitsspiel jeweils zugeführten Luftmenge erfindungsgemäß ausgeführt. Somit erfolgt die Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine je Arbeitsspiel und Zylinder zugeführten Luftmengenstromes mit Hilfe einer Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine, wobei eine bevorzugte Ausführungsart zur Gestaltung dieser Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbren-

nungskraftmaschine eine auslassventilintegrierende Bauweise mit individuell ansteuerbaren Auslassventilen 2 ist. Statt der bei jedem Ansaugtakt je Zylinder zu steuernden zugeführten Luftmenge erfolgt diese Steuerung erfindungsgemäß durch Variation der Öffnungsdauer der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine während des Verdichtungstaktes. Dies wird mit einer Gasaustrittsöffnungs-Steuereinrichtung 3 gesteuert, welche beim dargestellten Ausführungsbeispiel (Fig. 3) in eine GÖ (Gasaustrittsöffnungs-) Steuereinrichtung 3.2 und eine GS (Gasaustrittsöffnungs-Schließ-) Steuereinrichtung 3.1 unterteilt ist. Erstere gibt zylinderspezifisch Signale GÖ an eine Betätigungseinrichtung der Gasaustrittsöffnung je Zylinder 2, während letztere zylinderspezifische Signale GS an diese Einrichtung ausgibt. Der Zeitpunkt GÖ wird zylinder- und verbrennungskraftmaschinenspezifisch entsprechend den vorangegangenen Ausführungen unter Beachtung des Zeitpunktes zum Schließen des/ der Einlassventils (e) bestimmt. Der Zeitpunkt GS wird lastkollektivabhängig bestimmt, wobei eine Fahrpedalsignalausgabe 4 das Fahrpedalsignal (γ) und ein in Fig. 3 nicht dargestellter Verbrennungskraftmaschinen-Drehzahlmesser das Drehsignal (n) liefert. Bei Verbrennungskraftmaschinen der Ausführungsart I wird zur Lasterfassung oftmals das Signal eines Luftmassenmessers oder eines Saugrohrdruckmessers verwendet. Diese Messeinrichtungen sind mit dynamischen Fehlern behaftet, welche teils sensorbedingt (Klappen-Luftmengenmesser), oder auch messprinzipbedingt (Echt-Zeit-Charakter der Lastsignal-Auswertung - "Aktualisierungsfehler") sowie gestaltungsbedingt als Folge der Anordnung des Signalgebers im Saugrohr ("Phasenfehler") auftreten. Erfindungsgemäß können derartige Messeinrichtungen und Signalgeber entfallen. Die Tatsache, dass erfindungsgemäß der Saugrohrdruck im Mittel konstant ist, vereinfacht die Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Luftmengenstromes, wobei im Unterschied zur beschriebenen Ausfüh-

rungsart II auf den Einsatz von Schaltsaugrohren bzw. stufenlos verstellbaren Saugrohren zur dynamischen Kompensation von Druckwellen ebenso verzichtet werden kann, wie auf Luftaktivventile z. B. gemäß DE 19500501.5. Auf Grund des dadurch erzielten und annähernd konstanten Luftmengenstromes über alle Lastkollektive der Verbrennungskraftmaschine, können sehr genaue Voraussagen bezüglich der lastkollektivabhängigen Zylinderfüllung mit Luft getroffen werden, unter Beachtung der jeweils eingestellten Öffnungsdauer der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine. Die Kraftstoff-Regелеinrichtung 5 nutzt ebenfalls Lastkollektive zur Steuergrößenmanipulation. In der Folge werden auf der Basis von Lastkollektiven sowohl die Kraftstoff-, wie auch die Luftmenge pro Arbeitsspiel und Zylinder gesteuert. Werden Differenzen zwischen den beiden Steuerungen mit Hilfe der Lambdaregelung festgestellt, erfolgt ein Eingriff auf diese Steuerungsparameter. Dabei kann entweder eine Veränderung bezüglich der Kraftstoffmenge ($\sim t_{Li}$), der Luftmenge oder beider Steuerungsparameter vorgenommen werden. Dies wird in Fig. 3 durch das Lambdasignal (λ) angedeutet, welches beiden genannten Steuerungseinrichtungen zugeführt wird. Das Regeln des Lambdawertes mit Hilfe der Steuereinrichtung zur Steuerung der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine 3 besitzt den Vorteil, dass ein Echt-zeitnahes Ansprechen auf Änderungen des Lambdawertes umgesetzt werden kann. Die Regelung des Lambdawertes über die Steuerung des der Verbrennungskraftmaschine je Arbeitsspiel und Zylinder zugeführten Luftmengenstromes ist jedoch nur im Teillastbereich möglich, da diese Betriebspunkte noch nicht die Maximalfüllung repräsentieren. Die Regelung des Lambdawertes bei Volllast ($p_{msoll,v}$) erfolgt durch die Manipulation der je Zylinder und Arbeitsspiel eingespritzten Kraftstoffmenge ($\sim t_{Li}$) bei geschlossener Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum je-

des Zylinders der Verbrennungskraftmaschine (vgl. Gleichung 2).

Als Führungsgröße zur Reflexion des aktuellen Lastzustandes der Verbrennungskraftmaschine dient das Ausgangssignal der Kraftstoff-Regeleinrichtung 5, da dieses üblicherweise in vielfältiger Art korrigiert (z. B. Kraftstoff-, Verbrennungskraftmaschinen- oder Ansauglufttemperatur) sein kann. Darüber hinaus stellt die Einspritzmenge die entscheidende Größe für die Drehmomentabgabe der Verbrennungskraftmaschine und in der Folge somit auch für den dazugehörigen Zündwinkel (ZW) dar. Aus diesem Grund erhält eine Zündwinkel-Regeleinrichtung 6 das Signal zum Einspritzbeginn (t_i) und zur Einspritzmenge ($\sim t_{Li}$) als Lastsignal und liefert ein entsprechendes Zündwinkelsignal (ZW) für jeden Zylinder und jedes Arbeitsspiel der Verbrennungskraftmaschine.

Bei der beschriebenen Ausführungsvariante sind an der Verbrennungskraftmaschine zusätzlich Klopfensoren (nicht in Fig. 3 dargestellt) vorhanden. Diese erfassen zylinderspezifisch das Klopfverhalten. Wird festgestellt, dass in einem Zylinder eine klopfende Verbrennung stattfindet, wird die Öffnungsdauer der Gasaustrittsöffnung in Kompressionsraum des Zylinders entsprechend verändert, damit sich das Klopfen legt. Im Resultat kann die bisher übliche und kraftstoffverbrauchserhöhende Zündwinkelverstellung zum Beseitigen von Klopfen entfallen.

Es wird darauf hingewiesen, dass das Blockschaltbild nach Fig. 3 lediglich zum veranschaulichen des vorstehend beschriebenen Verfahrens zum drosselverlustfreien Steuern des Luftmassenstromes von Verbrennungskraftmaschinen dient. Die in diesem Zusammenhang beschriebenen Verfahrensabläufe werden in der Praxis durch Mikroprozessoren realisiert und nicht durch

Schaltungsblöcke, welche den Funktionsblöcken gemäß der Fig. 3 zugeordnet wären.

Bezugszeichenliste

<i>Symbol</i>	<i>Bedeutung</i>
$\sim t_{Li}$	lastkollektivabhängige Kraftstoffeinspritzmenge
h	Kolbenweg
H	Hub des Kolbens
n	Drehzahlsignal entsprechend der Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine
p	Druck
p_{Ab}	Druck der Abgase am Auslaßventil
p_{Amax}	oberstes Druckniveau in einem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine zu Beginn des Verdichtungstaktes
p_{Amin}	unterstes Druckniveau in einem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine zu Beginn des Verdichtungstaktes
p_{ms}	Zylinderspezifische Schleppleistung unbefuerter Zylinder der Verbrennungskraftmaschine
p_{msoll}	gewünschter Lastbereich der Verbrennungskraftmaschine
$p_{msoll,L}$	minimal möglicher Lastbereich der Verbrennungskraftmaschine entsprechend dem Abnahmeprotokoll
$p_{msoll,v}$	maximal möglicher Lastbereich der Verbrennungskraftmaschine entsprechend dem Abnahmeprotokoll
p_z	Druck in einem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine
p_{zI}	mit Hilfe von Indiziermessungen ermittelter lastkollektivabhängiger Druck in einem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel
p_{zR}	eingestelltes Druckniveau in einem Zylinder der Verbrennungskraftmaschine während des Verdichtungstaktes
t_{EHLi}	Lastkollektiv- und zylinderabhängiger Einspritzbeginn
t_i	Lastkollektivabhängiger Einspritzbeginn je Zylinder
t_{Li}	lastkollektivabhängige Öffnungsdauer der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine in ms

t_{Lis}	lastkollektivspezifische Schließzeitpunkt der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine
V	Volumen
V_c	Volumen des Kompressionsraumes eines Zylinders der Verbrennungskraftmaschine
V_H	Hubvolumen eines Zylinders der Verbrennungskraftmaschine
V_{HLi}	lastkollektivspezifisches Hubvolumen eines Zylinders der Verbrennungskraftmaschine
x	Maß zwischen Kolbenboden und dem Mittelpunkt des oberen Pleuelauges
α	Kurbelwinkel
α_{HLi}	lastkollektivspezifischer Kurbelwinkelbereich, bei welchem die Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine geöffnet ist in Grad Kurbelwinkel
$\alpha_{HLiÖ}$	Lastkollektivabhängiger Zeitpunkt zur Öffnung der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine in Grad Kurbelwinkel
α_{HLiS}	Lastkollektivabhängiger Zeitpunkt des Schließens der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine in Grad Kurbelwinkel
$\alpha_{HLiÖ}$	Lastkollektivabhängiger Kurbelwinkel zum Zeitpunkt EÖ
α_{HLiS}	Lastkollektivabhängiger Kurbelwinkel zum Zeitpunkt ES
γ	gemessenes Fahrpedalsignal entsprechend der Fahrpedalstellung
T_{Ab}	Abgastemperatur
S_k	Signal eines Klopfensors

Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern des Luftmengenstromes einer Verbrennungskraftmaschine mit direkter Kraftstoffeinspritzung und mindestens jeweils einem Einlass- und Auslassorgan je Zylinder mit Hilfe zumindest einer steuerbaren Gasaustrittsöffnung je Zylinder, die mit dem Kompressionsraum des Zylinders der Verbrennungskraftmaschine in Verbindung steht, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass
 - ein Fahrpedalsignal (γ) erfasst wird, dessen Wert von der Fahrpedalstellung abhängt,
 - ein Drehzahlsignal (n) erfasst wird, dessen Wert von der Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine abhängt und aus (γ) und (n) Lastkollektive gebildet werden, wobei
 - sowohl eine lastkollektivabhängige Öffnungsdauer (t_{Li}) der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine während des Verdichtungsaktes als auch lastkollektivabhängige Kraftstoffeinspritzmengen ($\sim t_{Li}$) je Arbeitsspiel und Zylinder bestimmt werden, sowie
 - Zündwinkel (ZW) lastkollektivabhängig bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zündwinkel (ZW) in Abhängigkeit vom Motordrehsignal (n) und einem Kraftstoffmengensignal ($\sim t_{Li}$) ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1. oder 2., dadurch gekennzeichnet, dass für unterschiedliche Zylinder unterschiedliche Öffnungsdauern (t_{Li}) der jeweiligen Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum in der Art bestimmt werden, dass alle befeuerten Zylinder annähernd die gleiche Menge an Arbeitsmedium (Kraftstoff-Luftgemisch) zugeführt bekommen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Zylinder der Verbrennungskraftmaschine bei Vorliegen eines kritischen Teillastbereiches die entsprechende Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum nicht mehr geöffnet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei Vorliegen eines Teillastsignals die Öffnungsdauern (t_{Li}) der Gasaustrittsöffnungen in den Kompressionsräumen von unbefeuerten Zylinder so verändert werden, dass in definierten Grenzen eine Laststeuerung für den befeuerten Zylinder durchgeführt werden kann.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Öffnungsbeginn (GÖ) der Gasaustrittsöffnung im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine so gelegt wird, dass der Abgasgegendruck größer als der im Zylinder herrschende Druck (p_z) ist, damit eine Abgasrückführung ermöglicht wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zum Steuern von Betriebsgrößen der Verbrennungskraftmaschine, z. B. der Zündwinkel (ZW), die Einspritzmenge, der Einspritzzeitpunkt, der Schließzeitpunkt, der Gasaustrittsöffnung und/oder des Auslassventils das Fahrpedalsignal mittels eines Motorsteuergeräts so modifiziert wird, dass sich ein Istwert der jeweils zu steu-

ernden Betriebsgröße in Richtung auf den jeweils gewünschten Sollwert der Betriebsgröße zu bewegt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Klopfverhalten der Verbrennungskraftmaschine zylinderspezifisch überwacht wird und die Öffnungsdauern (t_{Li}) der Gasaustrittsöffnungen im Kompressionsraum jedes Zylinders der Verbrennungskraftmaschine so eingestellt werden, dass kein Klopfen auftritt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Funktion der Gasaustrittsöffnung zur Einstellung der in jedem Zylinder befindlichen Luftmenge während des Verdichtungstaktes durch das oder die Auslassventil(e) übernommen wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung der Motorlast im Teillastbereich die Befeuerung einzelner Zylinder unterbleibt und die Öffnungsdauer (t_{Li}) der Gasaustrittsöffnung gleich null ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ermittlung der Luftmenge im Zylinder über die Erfassung des Abgasdruckes (p_{Ab}) nach der Gasaustrittsöffnung oder dem Auslassventil während des Verdichtungstaktes erfolgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellung der Öffnungsdauer (t_{Li}) und/oder des Öffnungshubes der Gasaustrittsöffnung oder des Auslassventils während des Verdichtungstaktes durch das

Abgas-Drucksignal (p_{Ab}), sowie in Abhängigkeit von der Motordrehzahl (n) und der Fahrpedalstellung (γ), erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellung der Öffnungsdauer (t_{Li}) und/oder des Öffnungshubes der Gasaustrittsöffnung oder des Auslassventils während des Verdichtungsaktes durch die Klopfgrenze der Verbrennungskraftmaschine in der Art bestimmt ist, dass bis zum Eintreten von Kraftstoffklopfen die Öffnungsdauer (t_{Li}) und/oder der Öffnungshub schrittweise erhöht wird und diejenige Öffnungsdauer (t_{Li}) und/oder der Öffnungshub als Maximalwert eingestellt wird, welche einen Schritt vor dem Kraftstoffklopfen ermittelt wurde.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung einer gleich bleibenden Abgastemperatur (T_{Ab}) während eines Regenerationsprozesses eines im Abgaskanal befindlichen Ruß- und/oder Partikelfilters sowohl die Motorlast als auch die Abgastemperatur (T_{Ab}) in der Art erhöht werden können, dass durch Verlängerung der Öffnungsdauer (t_{Li}) und/oder des Öffnungshubes der Gasaustrittsöffnung oder des Auslassventils jedes Zylinders während des Ausstoßaktes die Abgastemperatur (T_{Ab}) und die Motorlast steigt und bis zum Abschluss des Regenerationsprozesses die Öffnungsdauer (t_{Li}) und/oder der Öffnungshub in Abhängigkeit der Abgastemperatur (T_{Ab}) gesteuert wird.
15. Verfahren nach Anspruch 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung des Luftmengenstromes der Verbrennungskraftmaschine die Steuersignale an Stelleinrichtungen für die Gasaustrittsöffnungen und/oder die Auslassventile sowie

an die Einspritzventile mittels einer als CAN-Datenbus oder bitseriellen Schnittstelle ausgeführten elektronischen Schnittstelle durch eine integrierte Steuereinheit des Motorsteuergerätes eingekoppelt werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass Fehlfunktionen in der Steuerung des Luftmengenstromes mittels eines Diagnosefunktionsmoduls erfasst werden und die erfassten Fehlfunktionen in einer Datensicherung des Motorsteuergerätes auslesbar archiviert werden.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zur Steuerung des Bremsmomentes der Verbrennungskraftmaschine im Schubbetrieb die Öffnungsdauer (t_{Li}) und/oder der Öffnungshub des oder der Auslassventile jedes Zylinders während des Ausstoßtaktes so gesteuert werden, dass eine bremsmomentabhängige Verdichtung der Verbrennungsgase durch Verringerung der Öffnungsdauer (t_{Li}) und/oder Verringerung des Ventilhubes eingestellt wird.
18. Vorrichtung zur Steuerung des Luftmengenstromes von Verbrennungskraftmaschinen mit einer zylinderselektiv und arbeitsspielindividuell steuerbaren Kraftstoffeinspritzung und zumindest einer Gasaustrittsöffnung oder zumindest einem vollvariabel ansteuerbaren Auslass-Steuerungsorganen, dadurch gekennzeichnet,
 - dass ein Drehzahlsensor vorhanden ist, der die Kurbelwellendrehzahl (n) erfasst,
 - ein Drucksensor vorhanden ist, der den Druck nach der Gasaustrittsöffnung (p_{Ab}) und/oder nach den Auslassventilen jedes Zylinders erfasst und

- ein Sensor vorhanden ist, der die Fahrpedalstellung (γ) erfasst,
 - wobei ein Motorsteuergerät vorhanden ist, an das die Parameter (n), (p) und (γ) übermittelt werden, welches eine integrierte Steuereinheit mit Algorithmen zur Bestimmung des Luftmengenstromes enthält und welches auf dieser Basis Steuersignale bereitstellt, die die Öffnungsdauer und/oder den Ventilhub der Gasaustrittsöffnung oder des oder der Auslassventile jedes Zylinders steuern.
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass Stelleinrichtungen für die Gasaustrittsöffnungen oder die Auslass-Steuerungsorgan vorhanden sind, wobei die Steuerung der Öffnungsdauer der Gasaustrittsöffnungen oder der Auslass-Steuerungsorgane der Zylinder durch eine Signalausgabe des Motorsteuergerätes an die Stelleinrichtungen für Gasaustrittsöffnungen oder die Auslass-Steuerungsorgane in Abhängigkeit eines Temperatursignals (T_{Ab}) eines Temperatursensors im Abgassystem in der Art erfolgen, dass ein Differenzwert zwischen Abgassoll- und Abgasist-Temperatur gebildet wird und in Abhängigkeit dieses Differenzwertes die Öffnungsdauer und/oder der Ventilhub jedes Auslassventils über Signale des Motorsteuergerätes zu den Stelleinrichtungen der Auslassventile so erfolgt, dass sich die eingestellte Öffnungsdauer und/oder der Ventilhub jedes Auslassventils nach dem ermittelten Temperaturdifferenzwert richtet und während des Regenerationsprozesses eines Ruß- oder Partikelfilters konstant auf eine Solltemperatur eingestellt wird.
20. Vorrichtung nach Anspruch 18 und/oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass ein Klopfsensor vorhanden ist, wobei zur

Einstellung des Verdichtungsverhältnisses der Verbrennungskraftmaschine das Motorsteuergerät Signale an die Stelleinrichtungen der Gasaustrittsöffnungen und/oder Auslass-Steuerungsorgane jedes Zylinders während des Verdichtungstaktes ausgibt und die Einstellung des Verdichtungsverhältnisses in Abhängigkeit eines Signals des Klopfensors (S_K) durch das Motorsteuergerät erfolgt.

21. Vorrichtung nach Anspruch 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Motorsteuergerät eine integrierte Steuereinheit besitzt, die Schätzmittel zum Schätzen eines gewünschten Kraftstoff/Luft-Verhältnisses basierend auf den gegenwärtigen Motorbetriebsbedingungen enthält, welche durch die Sensoren ermittelt werden.
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Schätzmittel mit den Stelleinrichtungen und einer Kraftstoffeinrichtung verbunden ist und ein Steuersignal an die Stelleinrichtungen für die Gasaustrittsöffnungen oder die Auslass-Steuerungsorgane der Zylinder sowie die Kraftstoff-Steuereinrichtung leitet, um das Kraftstoff/Luft-Verhältnis so einzustellen, dass es gleich dem gewünschten Kraftstoff/Luft-Verhältnis ist, bevor die Druckmessungen durch einen Drucksensor im Abgassystem vorgenommen werden.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass in der integrierten Steuereinheit kennfeldabhängige optimale Luftüberschussverhältnisse für verschiedene Motorbetriebsbedingungen gespeichert sind, wobei jedes der gespeicherten optimalen Luftüberschussverhältnisse einem spezifischen Satz von Motorbetriebsbedingungen entspricht.

24. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasaustrittsöffnung das Auslassventil jedes Zylinders ist und die integrierte Steuereinheit in der Lage ist, die Öffnungs- und Schließzeiten und/oder die Öffnungswege der Auslassventile durch Stelleinrichtungen in der Art zu beeinflussen, dass sich die erforderlichen Luftmengenverhältnisse für eine betriebspunktspezifische Verbrennungssteuerung einstellen.
25. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Motorsteuergerät die Motorlast auf der Grundlage eines Messwertes eines Drehzahlsensors für die Kurbelwellendrehzahl (n) und eines Messwertes eines Drucksensors nach der Gasaustrittsöffnung und/oder des Auslassventils (p_{Ab}) jedes Zylinders ermittelt und/oder die Verbrennungsluftmenge über die Öffnungsdauer und/oder den Öffnungsweg der Auslassventile während des Verdichtungstaktes über Stelleinrichtungen einstellt.
26. Verbrennungskraftmaschine, die nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17 betrieben wird.
27. Verbrennungskraftmaschine aufweisend eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 25.

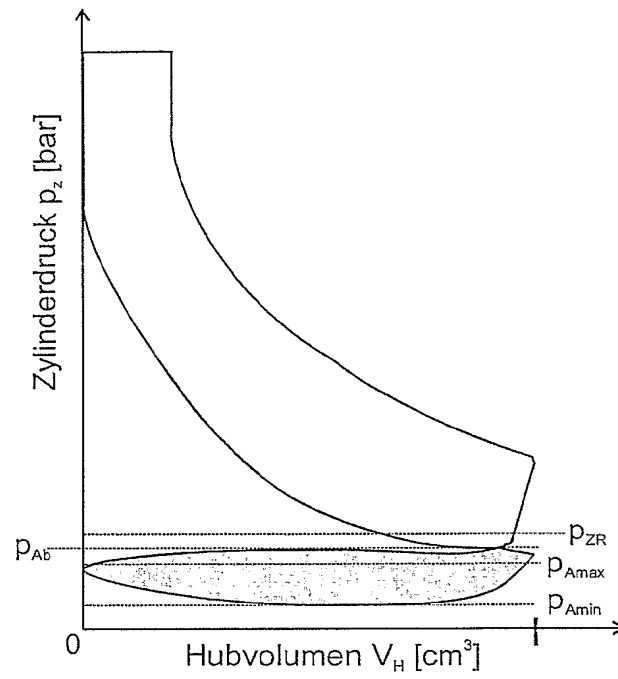


Fig. 1

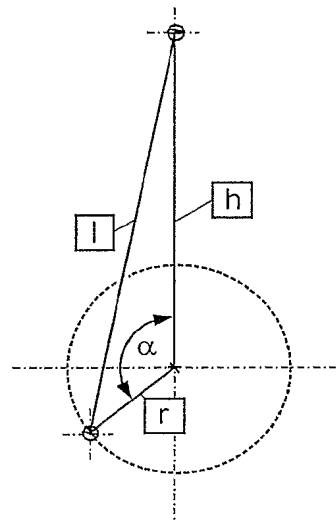


Fig. 2

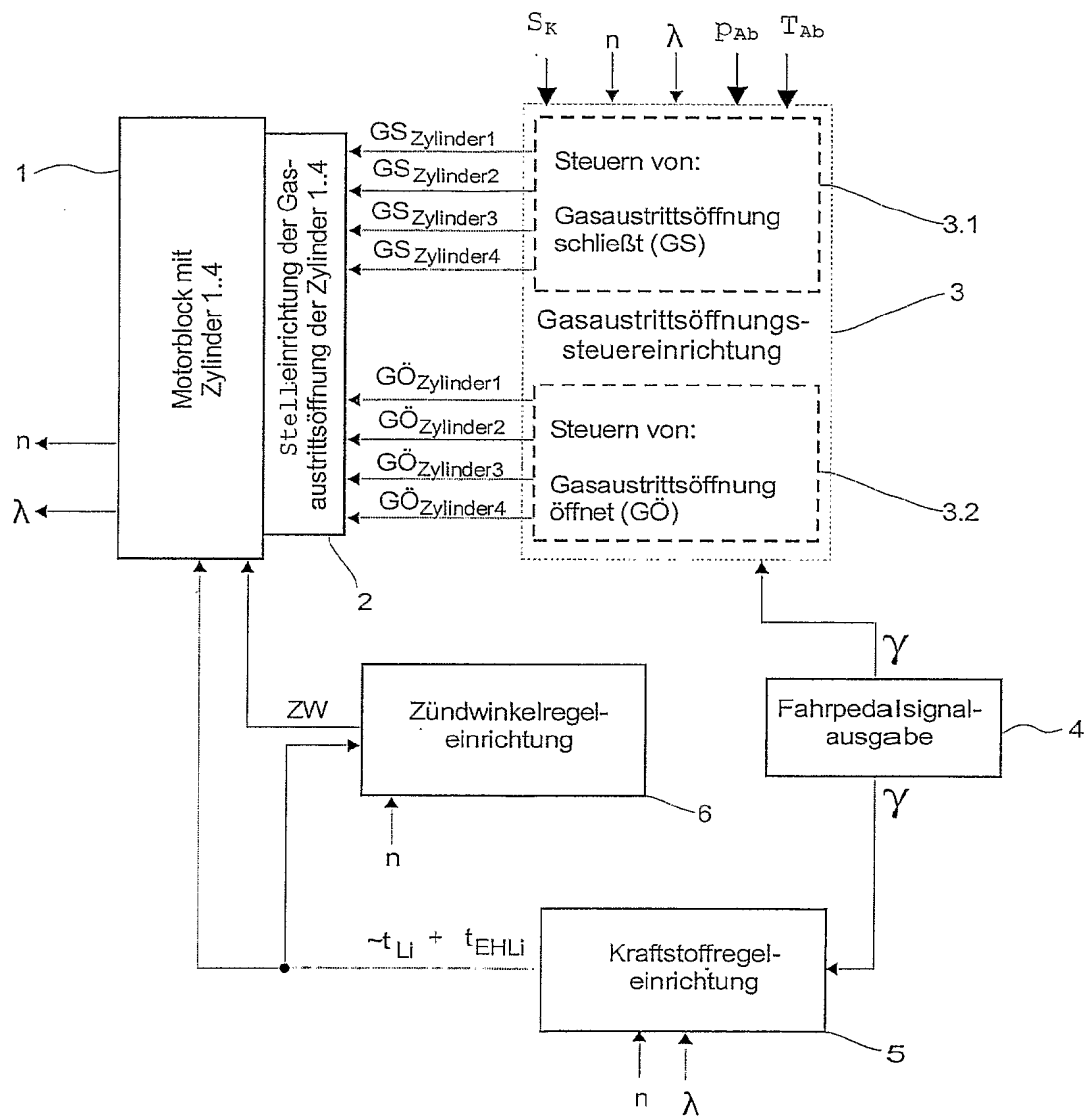


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/002153

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02D41/00 F01L1/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F02D F01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 390 056 B1 (HERTZBERG ANDREAS ET AL) 21 May 2002 (2002-05-21) column 1, line 32 - column 2, line 67 column 3, line 43 - column 5, line 24 -----	1-27
A	EP 1 134 398 A (NISSAN MOTOR COMPANY, LIMITED) 19 September 2001 (2001-09-19) paragraph '0011! - paragraph '0016! -----	1-27
A	EP 1 333 158 A (FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 6 August 2003 (2003-08-06) paragraph '0001! - paragraph '0020! -----	
A	EP 1 323 915 A (HITACHI, LTD) 2 July 2003 (2003-07-02) paragraph '0013! - paragraph '0027! -----	1-27

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 June 2005

Date of mailing of the international search report

28/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Calabrese, N

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 2005/002153

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6390056	B1	21-05-2002	DE 19810466 A1 DE 59902930 D1 WO 9946491 A1 EP 1062413 A1 JP 2002506168 T	30-09-1999 07-11-2002 16-09-1999 27-12-2000 26-02-2002
EP 1134398	A	19-09-2001	JP 2001207887 A EP 1134398 A2 US 2001015192 A1	03-08-2001 19-09-2001 23-08-2001
EP 1333158	A	06-08-2003	EP 1333158 A1 US 2003140877 A1	06-08-2003 31-07-2003
EP 1323915	A	02-07-2003	JP 2003193893 A EP 1323915 A2 US 2003121495 A1	09-07-2003 02-07-2003 03-07-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/002153

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F02D41/00 F01L1/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F02D F01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 390 056 B1 (HERTZBERG ANDREAS ET AL) 21. Mai 2002 (2002-05-21) Spalte 1, Zeile 32 - Spalte 2, Zeile 67 Spalte 3, Zeile 43 - Spalte 5, Zeile 24 -----	1-27
A	EP 1 134 398 A (NISSAN MOTOR COMPANY, LIMITED) 19. September 2001 (2001-09-19) Absatz '0011! - Absatz '0016! -----	1-27
A	EP 1 333 158 A (FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 6. August 2003 (2003-08-06) Absatz '0001! - Absatz '0020! -----	
A	EP 1 323 915 A (HITACHI, LTD) 2. Juli 2003 (2003-07-02) Absatz '0013! - Absatz '0027! -----	1-27

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. Juni 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28/06/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Calabrese, N

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/002153

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6390056	B1	21-05-2002	DE	19810466 A1		30-09-1999
			DE	59902930 D1		07-11-2002
			WO	9946491 A1		16-09-1999
			EP	1062413 A1		27-12-2000
			JP	2002506168 T		26-02-2002
EP 1134398	A	19-09-2001	JP	2001207887 A		03-08-2001
			EP	1134398 A2		19-09-2001
			US	2001015192 A1		23-08-2001
EP 1333158	A	06-08-2003	EP	1333158 A1		06-08-2003
			US	2003140877 A1		31-07-2003
EP 1323915	A	02-07-2003	JP	2003193893 A		09-07-2003
			EP	1323915 A2		02-07-2003
			US	2003121495 A1		03-07-2003